

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

RUHANA THAMARA DA COSTA

AVALIAÇÃO DA ETAPA DE MOSTURAÇÃO UTILIZANDO A TORTA DE
MACAÚBA (*Acrocomia Aculeata*)

OURO BRANCO/MG
Dezembro 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAOPÉBA
ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

RUHANA THAMARA DA COSTA

**AVALIAÇÃO DA ETAPA DE MOSTURAÇÃO UTILIZANDO A TORTA DE
MACAÚBA (*Acromia Aculeata*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em
cumprimento às exigências do Curso de
Engenharia de Bioprocessos do *campus* Alto
Paraopeba da Universidade Federal de São João
Del-Rei.

Orientadora: Prof. MSc. Alessandra Costa
Vilaça.

OURO BRANCO/MG
Dezembro 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**AVALIAÇÃO DA ETAPA DE MOSTURAÇÃO UTILIZANDO A TORTA DE
MACAÚBA (*Acromia Aculeata*)**

Autora: RUHANA THAMARA DA COSTA

Orientadora: Prof. MSc. Alessandra Costa Vilaça.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este TCC:

Prof. Dr. Edson Romano Nucci

Mestranda Sayeny de Ávila Gonçalves

Ouro Branco, 20 de Dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar meu caminho e interceder com muito amor e luz, principalmente nos momentos mais difíceis, concedendo força para continuar a caminhada.

Aos meus pais e ao meu irmão, por todo o amor e incentivo, por acreditarem neste sonho junto comigo e zelarem por mim em todos os momentos.

Ao meu namorado Allysson, por todo o apoio e amor durante esses anos que estamos juntos, e paciência nos momentos difíceis.

A irmã que a vida me deu de presente, Bárbara (Poca), por essa amizade linda que nós construímos.

As minhas companheiras da República Com O Vento, por todos os momentos de vida compartilhados. “É com muito prazer, COM O VENTO até morrer”. E as amigas da República Mel nesse Trem por terem entrado e ficado na minha vida.

Aos meu sogros, Altair e Lucimar, que se tornaram parte da minha família, dando muito apoio e conselhos.

À profa. Alessandra Costa Vilaça pela amizade, orientação, paciência e dedicação.

À profa. Maria Helena Caño de Andrade pelo apoio no trabalho realizado.

Aos meus amigos de Ouro Branco, por essa amizade que construímos e que levarei por toda a vida.

Aos professores do Departamento de Engenharia Química e Bioprocessos pelos ensinamentos.

E a todos direta ou indireta contribuíram pela realização deste trabalho.

RESUMO

O mercado cervejeiro tem apresentado uma nova tendência para cervejas especiais, buscando reduzir custos e agregar aromas sensoriais inovadores à cerveja. Pensando nesse mercado e em reaproveitar a torta da macaúba proveniente da extração do óleo da polpa, verificou-se a oportunidade de utilizá-la como adjunto do malte. O objetivo deste trabalho consiste em analisar o comportamento desse produto na etapa de mosturação da produção de cerveja e verificar a atividade enzimática na torta de macaúba. Produziram-se três bateladas, uma com 100% malte pilsen, outra com 100 % torta de macaúba e uma mistura na proporção com 55% de malte pilsen e 45% de torta de macaúba. Na mosturação foram realizadas três rampas de temperaturas. Uma rampa a 45°C, onde ocorre a atuação das enzimas desramificadoras. Uma rampa a 66°C, onde as β -amilases e as α -amilases tem atividade ótima. E uma última rampa a 75,6°C para inativação das enzimas. Durante esse processo foi avaliado o teor de amido, em diferentes intervalos após o início da mosturação e ao final foram analisados o ° Brix e a concentração de açúcares redutores. Os resultados mostraram que o malte é necessário na mosturação com a torta de macaúba, uma vez que na batelada com apenas torta de macaúba a conversão quase não ocorreu, sendo assim, seria interessante estudar outras proporções de malte e torta de macaúba.

Palavras-chave: mosturação, macaúba, cerveja, adjunto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da produção de cerveja.	10
Figura 2: Faixas de temperatura e pH das enzimas presentes na mosturação.	11
Figura 3: Rampas de temperatura da mosturação por infusão e por decocção.	12
Figura 4: Lúpulo.	19
Figura 5: Descrição territorial da Macaúba no Brasil.	22
Figura 6: Palmeira da Macaúba localizada na UFMG.	23
Figura 7: Porcentagem da distribuição dos frutos.	24
Figura 8: Frutos da macaúba, coletados na UFMG.	27
Figura 9: Despoldadeira.	27
Figura 10: Secagem dos frutos (a) e polpa (b) em estufa a 60°C.	28
Figura 11: Figura (a) polpa desidratada após 48 horas. Figura (b) Polpa cominuída em liquidificador industrial.	28
Figura 12: Prensagem da polpa de macaúba para extração do óleo em prensa mecânica.	29
Figura 13: Refratômetro de campo.	32
Figura 14: Teste qualitativo de iodo antes de iniciar a mosturação.	36
Figura 15: Mosturação com malte pilsen (direita) e macaúba (esquerda).	37
Figura 16: Figura (a) Mosturação da torta da macaúba. Figura (b) Mosturação com malte pilsen e torta de macaúba.	38
Figura 17: Comparação das cores das amostras avaliadas neste trabalho.	38
Figura 18: Rampas de temperaturas realizadas.	39

Figura 19: Teste do lodo realizado após 50 e 60 minutos na mosturação de 100% malte pilsen, 100 % torta de macaúba e o mosto com 55% de malte pilsen e 45% torta de macaúba.....	39
Figura 20: Teste do lodo realizado após 70 e 80 minutos na mosturação de 100% malte pilsen, 100 % torta de macaúba e o mosto com 55% de malte pilsen e 45% torta de macaúba.....	40
Figura 21: Curva padrão de glicose.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Enzimas que atuam na mosturação.....	13
Tabela 2: Águas cervejeiras típicas.	17
Tabela 3: Características do malte.	18
Tabela 4: Caracterização da torta da macaúba.	25
Tabela 5: Valores Médios dos teores de Proteínas, Lipídeos, Cinzas, Umidade e Carboidratos da Torta Residual de Macaúba (% m/m).....	25
Tabela 6: Comparação das características do malte e da macaúba.	26
Tabela 7: Receita original da Cerveja	30
Tabela 8: Dados da mosturação.	30
Tabela 9: Dados sobre a despulpagem da Macaúba.....	34
Tabela 10: Resultado obtido na prensagem da polpa para a extração do óleo.	35
Tabela 11: Dados da estimativa da prensagem da polpa de macaúba.	35
Tabela 12: Dados da curva padrão de glicose.....	43
Tabela 13: Dados da concentração de glicose e ° Brix do malte e da torta de macaúba.	44
Tabela 14: Concentração de glicose, ° Brix e densidade nos mostos analisados. ..	45

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO	8
1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVO	7
2.1 Objetivos específicos	7
3 REVISÃO DA LITERATURA	8
3.1 Cerveja	8
3.1.1 Etapas do processo	9
3.1.2 Moagem.....	10
3.1.3 Mosturação.....	10
3.1.4 Filtração, Fervura e Preparo do Mosto	14
3.1.5 Fermentação e Maturação.....	15
3.2 Matérias-primas	15
3.2.1 Água	16
3.2.2 Malte.....	17
3.2.3 Lúpulo.....	19
3.2.4 Leveduras.....	19
3.2.5 Adjuntos.....	20
3.2.6 Macaúba.....	22
4 METODOLOGIA	26

4.1	Matéria-prima.....	26
4.2	Mosturação	29
4.3	Teste do Iodo	31
4.4	Análise do °Brix.....	32
4.5	Análise de açúcares redutores pelo método do 3,5-dinitrosalicílico (DNS)	
	33	
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	33
5.1	Matéria-prima.....	33
5.2	Mosturação	36
5.3	Teste do Iodo	39
5.4	Análise do °Brix.....	41
5.5	Análise de açúcares redutores pelo método do 3,5-dinitrosalicílico (DNS)	
	43	
6	CONCLUSÃO	46
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
8	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais antigas da história e está entre as bebidas mais consumidas no mundo atualmente. Segundo Freitas (2015) o Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção de cerveja. A produção no país cresce em média 5% ao ano e o consumo *per capita* ainda tende a crescer (CERVBRASIL, 2016).

Mesmo sendo uma bebida tão antiga o processo de produção de cerveja não teve muitas alterações, sendo praticamente o mesmo. Uma das mudanças que ocorreu foi a adição de outras matérias-primas, denominadas como adjuntos do malte. Os adjuntos podem ser qualquer planta que contenha amido em sua composição, eles serão fontes secundárias de carboidratos, porém a legislação não permite que a porcentagem desse componente ultrapasse 45% do extrato primitivo (D'AVILA *et al.*, 2012).

Muitos produtores optam pela adição dos adjuntos buscando a redução dos custos. E além disso tem-se investido em cervejas especiais com adição de adjuntos que trazem novas propriedades sensoriais as cervejas. E com o crescimento do mercado de cervejas artesanais no Brasil na última década, observa-se um novo mercado de consumidores, mais seletivos e em busca de cervejas diferenciadas com aromas que agradem os diversos tipos de consumidores (CARVALHO, 2009).

A macaúba é uma palmeira do cerrado brasileiro que tem grande quantidade de óleo em sua composição. A maior parte do óleo é extraída da polpa e após a extração é gerado um coproduto com alto teor de nutrientes. Devido ao valor nutricional dessa torta e com intuito de agregar valor a esse produto este trabalho propõe sua utilização na produção de cerveja.

Por ser um adjunto não convencional, faz-se necessário o estudo do comportamento da torta de macaúba na mosturação da cerveja. A mosturação é tida como um dos processos mais importantes da produção, pois nela são formados os açúcares que serão convertidos em álcool pelas leveduras. A temperatura e o pH são

os principais parâmetros a serem controlados na mosturação pois, dependendo desses fatores diferentes tipos de cervejas são produzidas.

Visando agregar valor a torta da macaúba, esse trabalho propõe a avaliação da etapa de mosturação. Para isso, será analisada a etapa de mosturação com o intuito de avaliar o comportamento deste coproduto no processo e qual sua contribuição de açúcares fermentescíveis e qualidade sensorial no mosto.

O presente trabalho teve início com uma ampla revisão bibliográfica buscando compreender os principais conceitos e fatores associados à produção da cerveja e ao fruto da macaúba. Em seguida, tem-se de forma detalhada toda a metodologia utilizada no estudo. Por conseguinte, são apresentados e discutidos os resultados obtidos na despulpagem da macaúba e nas bateladas da mosturação realizadas, bem como as análises do °brix, pH e DNS. Por fim, tem-se a conclusão, as sugestões para trabalhos futuros e as referências bibliográficas.

2 OBJETIVO

Avaliar a conversão de açúcares solúveis e o comportamento das enzimas α -amilase e β -amilase na torta de macaúba por meio da etapa de mosturação.

2.1 Objetivos específicos

- Realizar a análise do ° brix.
- Fazer a medida de pH.
- Realizar a análise da densidade do mosto.
- Realizar a análise de açúcares redutores pelo método do 3,5-dinitrosalicílico (DNS) antes e após a mosturação.
- Realizar a mosturação com as seguintes proporções: 100 % malte pilsen; 100 % torta de macaúba; e 55% malte pilsen e 45% torta de macaúba.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Cerveja

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais antigas da história. Provavelmente a cerveja não foi a primeira bebida alcoólica a ser descoberta, mas estudos históricos indicam que sua preparação já ocorria há cerca de 6.000 anos a.C, na região da Mesopotâmia e em outros locais pelo mundo (GONÇALVES *et al.*, 2016).

Na Antiguidade, essa bebida era utilizada pelos povos da Suméria, Babilônia, Egito e também por gregos e romanos durante o apogeu destas civilizações. Estudos indicam que esta bebida foi desenvolvida paralelamente aos processos de fermentação de cereais e difundiu-se lado a lado com as culturas de milho, centeio e cevada (AQUARONE, *et.al*, 2001).

Os povos de origem germânica dominaram a arte de produzir cerveja durante o Império Romano e na Idade Média foram os primeiros a introduzir lúpulo na sua produção, conferindo-lhe aroma e características a bebida. Nesta época, ainda era utilizada todo tipo cereal como ingrediente na produção, e por esse motivo o Duque Guilherme IV da Bavária/Alemanha, no ano de 1516, aprovou a lei da Pureza alemã Reinheitsgebot, estabelecendo que a cerveja deveria ser produzida somente com cevada, lúpulo e água (AQUARONE, *et.al*, 2001; BAMFORTH, 2002).

No Brasil a cerveja chegou em 1808 trazida pela família real portuguesa dos países europeu. Anos mais tarde foi fundada a Manufatura de Cerveja Brahma Villigier e Cia e a Companhia Antártica Paulista, que hoje formam a Ambev, maior empresa no ramo cervejeiro no país até 2004, ano em que a Ambev se fundiu com a cervejaria belga InterBev formando a Inbev, maior cervejaria do mundo (VENTURINI, 2000; CORREIO DO POVO, 2004).

Atualmente, com produção anual de cerca de 14 bilhões de litros, o Brasil é o terceiro maior mercado de cerveja do mundo, após somente da China e dos EUA. E na América Latina é o maior consumidor per capita, o consumo estimado é de mais

de 68 litros por habitante por ano. Somente no ano de 2016 foram registradas novas 148 cervejarias no país, elevando o total de empresas para 522 (CERVESIA, 2017).

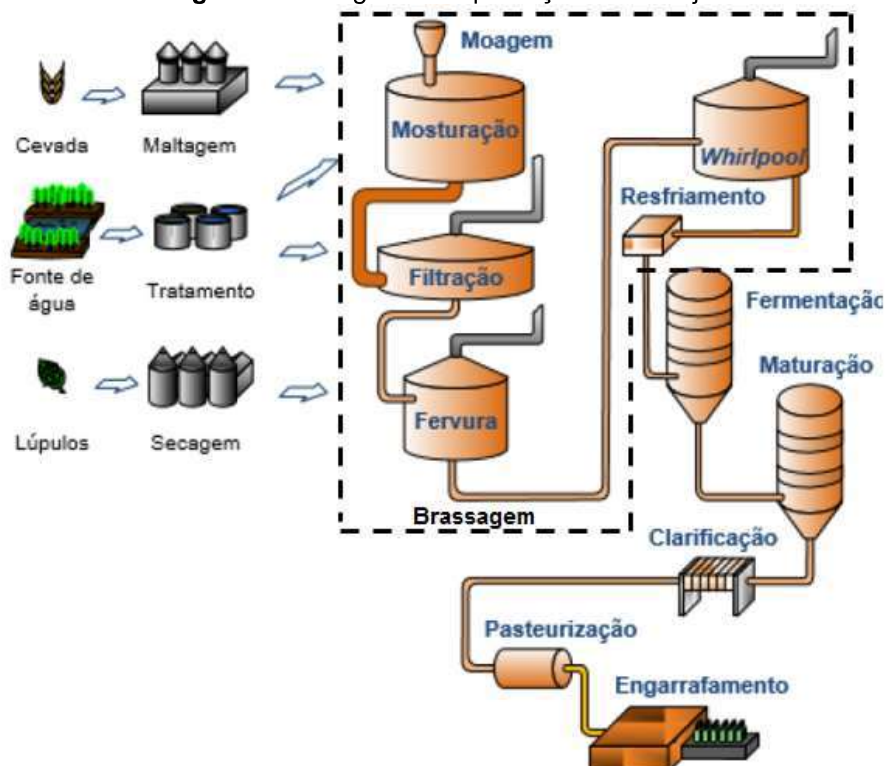
Um mercado crescente no ramo cervejeiro são as microcervejarias artesanais. Segundo o Instituto da Cerveja o último levantamento no ano de 2015 revelou que até aquele momento existiam 372 microcervejarias artesanais no Brasil, houve um crescimento de 17% em relação a 2014, isso representa um crescimento equivalente a uma nova cervejaria por semana. A previsão até o final do ano de 2017 é que esse número deve chegar a 500 microcervejarias (CERVESIA, 2017).

O aumento do consumo de cerveja e da produção de cervejas especiais e artesanais, está contribuindo para um avanço nas pesquisas científicas nesse ramo. Os produtores de cerveja tem feito uso de técnicas da microbiologia e da genética, e buscado o conhecimento da fisiologia celular para melhorar o processo e a qualidade das cervejas produzidas. Uma maneira de inovar no mercado cervejeiro é a diversificação da produção, como o uso de adjuntos não convencionas, fermentação de mostos de alta densidade e criação de cervejas aromatizadas (CARVALHO *et al.* 2009).

3.1.1 Etapas do processo

O processo tradicional de produção de cerveja pode ser explicado em cinco grandes etapas, sendo elas: brasagem, fermentação e maturação, filtração e envasamento. A brasagem é a etapa que agrega mais procedimentos auxiliares, e nesta etapa temos: moagem, mosturação, filtração do mosto, fervura e tratamento do mosto. A etapa de fermentação é onde ocorre a conversão dos açúcares formados na mosturação em álcool e dióxido de carbono. A etapa de maturação objetiva equilibrar os compostos formados na fermentação. A filtração é uma etapa para retirar os sólidos suspensos da cerveja, deixando-a mais clara e límpida. O envase é a etapa que a cerveja é colocada em seus recipientes de comercialização, como latas e garrafas. A Figura 1 representa o fluxograma da produção de cerveja, incluindo as etapas de produção e tratamento das matérias-primas e também a pasteurização, que é o processo de eliminação de microrganismos contaminantes da cerveja.

Figura 1: Fluxograma da produção de cerveja.



Fonte: Ambrosi, 2016, adaptado.

3.1.2 Moagem

A moagem tem por objetivo quebrar os grãos de malte a fim de expor o endosperma e aumentar a superfície de contato da água com essa parte que é rica em amido. Essa ação possibilita a atuação das enzimas presentes no próprio malte. Na moagem geralmente se usa moinhos de rolos ou de martelos, e o ideal é que os grãos não fiquem muito moídos, pois isso dificultará a etapa posterior de filtração do mosto, uma vez que as cascas atuam como elemento filtrante, facilitando o processo de filtração (ROSA & AFONSO, 2015).

3.1.3 Mosturação

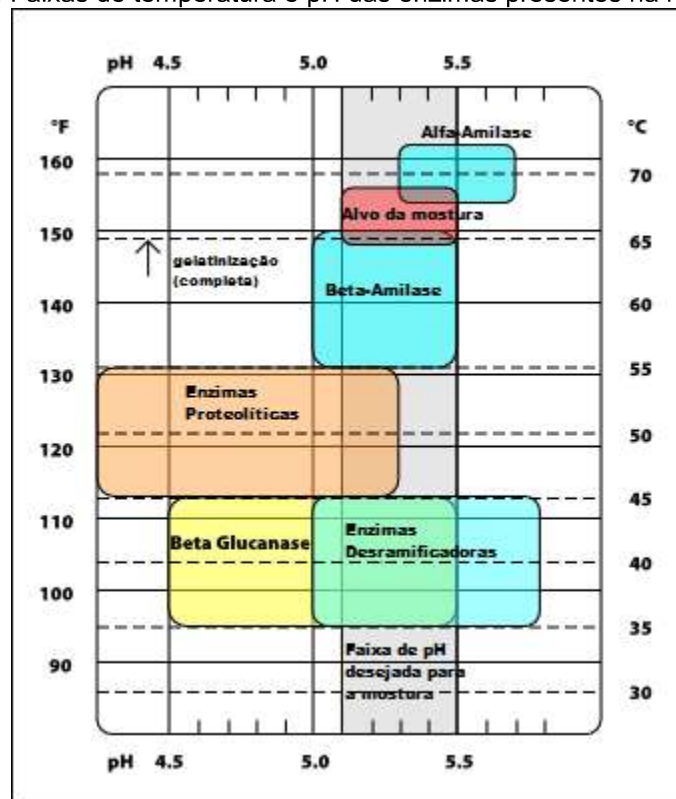
A mosturação é uma etapa muito importante no processo de produção da cerveja, pois nela o amido será transformado em açúcares de cadeias menores que serão utilizados pela levedura na fermentação.

Mosturação é o processo de transformação das matérias-primas cervejeiras em mosto. O principal objetivo dessa etapa é a solubilização do amido presente no malte

a fim de produzir um extrato. O amido é hidrolisado em três etapas pela atuação de um complexo enzimático que é fornecido pelo próprio malte. A primeira é a gelatinização, onde as moléculas do amido são quebradas rapidamente permitindo a hidrólise por enzimas do tipo amilase. A segunda é a liquefação, nesta etapa a α -amilase atua promovendo a absorção de água pelo amido. Se a primeira etapa não for bem sucedida a liquefação também não será eficiente. A terceira é a sacarificação, onde vai ocorrer a formação dos açúcares fermentescíveis (ABOUMRAD; BARCELLOS, 2015). Ao final da sacarificação, o mosto será composto por aproximadamente de 10% glicose, 45 % maltose, 15% maltriose e 5% sacarose, isso representa cerca de 75 % do mosto, os outros 25 % são formados por açúcares não fermentáveis, ou seja, 10 % de maltotetraose e 15 % dextrinas (BANDINELLI, 2015).

Segundo Brandam e Meyer (2002) a mosturação é a etapa mais importante do processo de produção de cerveja, pois ela que irá determinar a quantidade de açúcares fermentescíveis no mosto e isso irá influenciar diretamente da graduação alcoólica da cerveja final.

Figura 2: Faixas de temperatura e pH das enzimas presentes na mosturação.



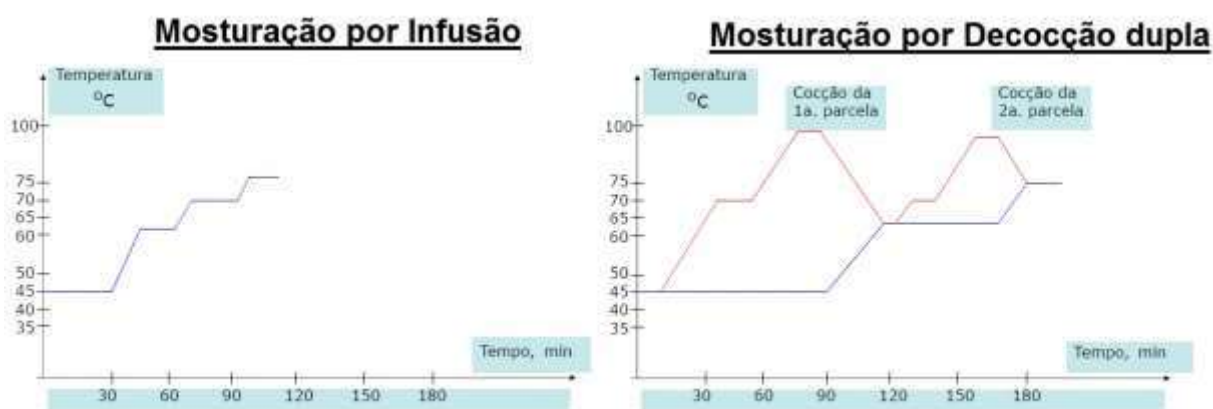
Fonte: Palmer, 2006.

As enzimas existentes no malte atuam em faixas de temperatura variadas. Como pode ser observado na Figura 2, cada tipo de enzima é favorecido por diferentes temperaturas e condições de pH (PALMER, 1999).

Afim de se alcançar as temperaturas de ativação das enzimas, durante a mosturação são realizadas rampas de aquecimento alternadas com repouso. O número de etapas de repouso, a duração de cada rampa e a temperatura irão influenciar diretamente nas características do mosto, tais como fermentabilidade (PALMER, 1999).

Existem dois tipos de mosturação, como apresentado na Figura 3, a mosturação por infusão e por decocção. Na Mosturação por infusão, o mosto é aquecido por adição de água quente, assim, utiliza-se uma fonte externa de calor, como um fogão. Na decocção uma parte do mosto é fervido para passar de um patamar de temperatura a outro. O número de decocções depende do número de patamares de temperatura a serem utilizados na brasagem. O intervalo de tempo mais utilizado nas brasagens é de trinta minutos em três faixas de temperatura (GONÇALVES, *et al.*, 2016; ROSA, 2009; MARCONDES, 2011).

Figura 3: Rampas de temperatura da mosturação por infusão e por decocção.



Fonte: Marcondes, 2011.

Aboumrad e Barcellos (2015) afirmam que quando se faz o uso de adjuntos não malteados é necessário realizar uma rampa de gelatinização para que a hidrólise inicial aconteça, caso contrário, o adjunto utilizado pode não se solubilizar em água.

A faixa de temperatura de atuação ideal das enzimas irá conferir ao mosto as características da cerveja. A enzima beta-amilase, tem atuação na faixa de 60°C, sendo assim, quando o mosto está em temperaturas mais baixas, variando de 62°C a 66°C, são produzidos açúcares básicos, como a maltose, que é fermentada completamente pelas leveduras, o resultado são cervejas secas e menos encorpadas. Já na faixa temperatura de 70°C, a atuação da enzima alfa-amilase é favorecida, então em temperaturas variando de 67°C a 72°C são produzidos açúcares mais complexos, as dextrinas, que não são fermentados pelas leveduras, o que a produção resulta em cervejas mais doces e encorpadas (MATOS, 2011; PALMER, 1999).

Entender o modo de ação das enzimas, bem como a temperatura de atividade é um fator muito importante, pois a partir desse entendimento é possível produzir diversos tipos de cervejas, com diferentes propriedades, baseadas nas rampas de temperatura (BANDINELLI, 2015). Quando a temperatura está aumentando, dentro da faixa de atuação específica da enzima, elas catalisam reações e atingem pico de atividade pouco antes de serem desnaturadas pela elevação da temperatura (ABOUMRAD; BARCELLOS, 2015).

As principais enzimas presente na mosturação estão descritas na Tabela 1, com as faixas de temperatura e pH ideais para a melhor atividade enzimática de cada uma delas. Apesar das enzimas necessitarem de um intervalo ótimo de atuação, muitas delas permanecem ativas fora desse intervalo, porém trabalhando em velocidades menores (ABOUMRAD; BARCELLOS, 2015).

Tabela 1: Enzimas que atuam na mosturação.

Enzima	Temperatura ideal (°C)	pH ideal	Função
B-Glucanases	35 a 45	4,5 a 5,5	Hidrolisar a goma presente no mosto
Enzimas desramificadoras	35 a 45	5 a 5,5	Solubilização de amidos
Proteases	45 a 55	3,7 a 5,3	Clivagem de proteínas
Peptidases	45 - 55	4,6 a 5,3	Produção de Amino Nitrogênio livre
β-amilases	55 a 66	5 a 5,5	Produce a maltose
α-amilase	67,8 - 72	5,3 a 5,7	Produce outros tipos de açúcares

Fonte: Palmer (2006).

Uma das reações ocorre pela ação das enzimas amilases. As amilases fazem a hidrólise das ligações α -1,4 e/ou α -1,6 do amido, do glicogênio e alguns outros sacarídeos. Elas dividem-se em dois grupos: as α -amilases e as β -amilases. As α -amilases hidrolisam, de forma aleatória, as ligações α -1,4 da amilose e amilopectina nas regiões mais centrais da molécula, gerando moléculas menores. As β -amilases irão atuar nas moléculas clivadas anteriormente pelas alfa-amilases. Elas hidrolisam as ligações α -1,4 do amido a partir da extremidade não redutora, liberando moléculas de maltose (BANDINELLI, 2015).

Outra reação é realizada pelas proteases, enzimas que realizam a catálise das ligações peptídicas em proteínas. Cerca de 40 a 45% das proteínas do malte se tornam solúveis e tem influência no processo. As proteínas que não foram degradadas na mosturação irão ser descartadas juntamente com o bagaço, na etapa de filtração. As proteínas estão relacionadas com a retenção de CO₂ e na qualidade da espuma, estabilidade coloidal e corpo da cerveja e também são utilizadas como nutrientes pela levedura (POLAINA E MACCABE, 2007).

Outra reação importante é realizada pelas enzimas β -glucanases. Essas enzimas são da família das celulasas e fazem a hidrólise das cadeias remanescentes de beta-glucano de alto peso molecular. Os β -glucanos são substâncias que aumentam a viscosidade do mosto quando são solubilizados na água (POLAINA E MACCABE, 2007; BRANDAM; MEYER, 2002).

3.1.4 Filtração, Fervura e Preparo do Mosto

A filtração do mosto é realizada quando as enzimas do malte já estão desativadas, após o *mash-out*, ela é realizada utilizando a própria casca no malte como uma camada filtrante. Nesta etapa ocorre a recirculação do mosto e a lavagem dos grãos com água, para aumentar a extração dos açúcares e o rendimento do processo (GONÇALVES, *et al*, 2016; VENTURINI *et al.*, 2010).

Após a filtração é adicionado o lúpulo e a etapa de fervura é iniciada. O objetivo principal da fervura é a esterilizar do mosto, coagular as proteínas e polifenóis,

isomerizar os componentes do lúpulo para a extração dos aromas e amargores que conferem características a cerveja (AIZEMBERG, 2015; BANDINELLI, 2015).

Antes do mosto ir para a fermentação é necessário realizar um procedimento para retirar os precipitados formados, resfriar e aerar o mesmo. A precipitação ocorre pela ação da força centrípeta promovida por uma agitação circular, conhecido como *trub*. Essa ação irá precipitar os compostos indesejados no fundo da panela, e o mosto límpido será separado e resfriado por um trocador de calor. Após o resfriamento o mosto está pronto para ir para a etapa de fermentação (BANDINELLI, 2015; VENTURINI *et al*, 2010).

3.1.5 Fermentação e Maturação

O processo de fermentação é iniciado com o crescimento das leveduras. A levedura é adicionada ao mosto aerado e irá se reproduzir até que todo o O₂ dissolvido seja consumido, ou seja, oxidado a CO₂ e H₂O. Após o consumo de todo o O₂, as leveduras entram em processo anaeróbio e começam a consumir os açúcares fermentescíveis presentes no mosto, transformando-os em etanol e CO₂. Essa fase é conhecida como fermentação primária e a temperatura deve ser reduzida gradualmente, geralmente de 15°C para 6 °C e tem duração média de dez dias (AIZEMBERG, 2015; VENTURINI, *et al.*, 2010).

A fermentação secundária é também conhecida como maturação. A maturação ocorre em baixas temperaturas de 0 a 3° C e tem duração de sete a quinze dias. Durante a fase primária outros produtos são formados como ésteres, acetaldeídos, cetonas, etc. Já na fase de maturação, quando a glicose está esgotada, a levedura faz um reprocessamento desses produtos melhorando os aromas e sabores, bem como conferindo maior estabilidade a cerveja. Essa etapa é fundamental para a clarificação e refino dos aromas da cerveja (GONÇALVES, *et al.*, 2016; LUFT, 2016).

3.2 Matérias-primas

As matérias-primas usuais do processo de produção de cerveja são: água, malte, lúpulo e levedura, e mais recentemente foram adicionados muito adjuntos.

3.2.1 Água

A cerveja é composta por aproximadamente 95% de água, por isso essa matéria-prima é dada como a principal no processo de produção. A água tem que ser adequada ao consumo humano e pode ser ajustada de acordo com a necessidade de cada indústria. Assim, a água usada na indústria tem que ser límpida e não pode interferir no processo (AIZEMBERG, 2015).

As propriedades da água são tão importantes para as características e qualidade final da cerveja, que algumas regiões do mundo ficaram conhecidas por terem uma água boa para produção de cerveja, pois antigamente a qualidade da água era um fator determinante para a qualidade da cerveja. Na República Tcheca a água tem características conhecidas por “água mole” devido a sua composição com baixo teor de íons Cálcio e Magnésio e é adequada para a produção da cerveja *Pilsen*. Em *Burton, Midlands*, Inglaterra, e nas regiões de Montanhas Rochosas água é dura, ou seja, contém altos teores de cálcio e magnésio. Cada uma dessas águas contribui para a obtenção de um sabor único na cerveja. (GONÇALVES, *et al.*, 2016; VENTURINI *et al.*, 2005).

Com o avanço das técnicas da biologia e química, é possível tratar a água utilizada no processo para que ela fique dentro de uma especificação ideal para a produção de cerveja. A composição desta água irá influenciar diretamente na maturação e fermentação, pois estas processos enzimáticos que dependem de fatores específicos para um bom resultado. Além disso, dependendo da quantidade de sais dissolvidos e matéria orgânica ela pode apresentar características de sabor e odor (VENTURINI *et al.*, 2015).

Os parâmetros necessários para obter uma água de boa qualidade são: água livre de turbidez, ou seja, água sem sólidos em suspensão, como exemplo: argila e areia; água com pH entre 5 e 9,5, pois o pH atua na regulação dos processos biológicos; Além dos muitos nutrientes e sais minerais necessários em todo o processo (ROSA e AFONSO, 2015). A Tabela 2 a seguir contém a composição e algumas propriedades físicas água seja considerada de qualidade para a produção de cada tipo de cerveja, como a Pilsen, Berlim, Burton, Munique e Dormund.

Tabela 2: Águas cervejeiras típicas.

	Pilsen	Berlim	Burton	Munique	Dortmund
Resíduos Totais (mg/L)	51	-	1.226	284	1.110
CaO (mg/L)	10	205	375	106	367
MgO (mg/L)	4	37	103	30	38
SO₃ (mg/L)	4	314	532	8	241
Cl (mg/L)	5	-	36	2	107
Dureza total (°dH)	1,6	25,7	51,8	14,8	42
Dureza permanente (°dH)	0,3	22,5	38,6	0,6	25,2
Dureza carbonatária (°dH)	1,3	3,2	13,2	14,2	16,8
Alcalinidade (°dH)	0,9	-3,4	0,4	10,6	5,5

Fonte: Gonçalves *et al*, 2016, adaptado.

3.2.2 Malte

O malte é uma das principais matérias-primas do processo de fabricação de cerveja, não se faz cerveja sem malte. Ele é resultado do processo de germinação artificial, sob condições controladas, de diversos grãos (ROSA e AFONSO, 2015; PORTO, 2011).

O processo de produção do malte é conhecido como malteação. Este processo envolve desde a germinação do grão até o armazenamento do produto final. Na malteação ocorre a germinação do cereal em um período curto de tempo sob condições controladas de temperatura, umidade e aeração. A malteação é realizada de modo similar e independe do gênero alimentício onde malte será empregado. Sendo seu principal objetivo é a produção de enzimas que irão atuar em diversas transformações (PORTO, 2011).

A malteação pode ser dividida em três etapas: a maceração, a germinação e a secagem. A maceração é o preparo do grão para a germinação. Nesta etapa a umidade do grão é elevada até 45 % para iniciar a germinação e tem duração de cerca de dois dias em grandes tanques de fundo cônico com aeração. A germinação é um processo biológico, e sob condições controladas o grão irá sair do estado de dormência e irá iniciar o processo de desenvolvimento do embrião. Nesta fase são produzidas diversas enzimas necessárias na produção de cerveja. A etapa de secagem ocorre para que o desenvolvimento do embrião cesse, ou seja, quando o

caulículo atingir o comprimento adequado a germinação é interrompida por uma secagem controlada (AIZEMBERG, 2015; PORTO, 2011).

Durante a malteação há formação e ativação de enzimas que irão atuar na fabricação de cerveja fazendo a conversão do amido em açúcares fermentescíveis que serão utilizados na fermentação. As enzimas presentes no malte são: α -amilase, β -amilase, maltase e as proteases. A α -amilase e a β -amilase são as principais enzimas e irão atuar na conversão do amido. A maltase realizará conversão da maltose em glicose. As proteases atuam na clivagem das proteínas do malte em substâncias necessárias na etapa de fermentação, como nitrogênio livre. Cada grupo de enzimas necessita de condições ótimas de temperatura e pH para serem ativadas, e durante a mosturação essas condições são estabelecidas e ocorre a conversão das substâncias presentes no malte (GONÇALVES *et al*, 2016; PORTO, 2011). As principais características do malte estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características do malte.

Características	Malte
Massa do grão (mg)	29-33
Umidade (%)	4-6
Amido (%)	50-55
Açúcares (%)	8-10
Nitrogênio Total (%)	1,8-2,3
Nitrogênio Solúvel (% de N total)	35-50
Poder diastásico	100-250
α -amilase, unidades de dextrina	30-60
Atividade proteolítica	15-30

Fonte: Venturini, 2010.

O malte pode ser produzido a partir de diversos cereais. Entretanto a cevada tem se mostrado como a melhor opção para a produção de cerveja, pois apresenta elevado teor de amido e alto conteúdo de enzimas que irão degradar o amido em açúcares fermentescíveis. Além disso, a casca protege na etapa de malteação e contribui para a filtração do mosto. A cevada apresenta diferentes características físicas, químicas e biológicas e a escolha do tipo irá influenciar diretamente nos aspectos da cerveja, como: aroma, sabor, cor, densidade, e outros (LUFT, 2016; BARROS, GHESTI, 2016).

3.2.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus Lupulus*) é uma planta típica das regiões frias e necessita de um inverno longo para ter boa produtividade. Ele é característico da Alemanha, EUA, Polônia, República Tcheca Japão, Chile entre outros. As plantas são trepadeiras cujas flores fêmeas apresentam grande quantidade de resinas amargas e óleos essenciais, os quais conferem à cerveja o sabor amargo e o aroma que caracterizam a bebida (AIZEMBERG, 2015).

Figura 4:Lúpulo.



Fonte: Nascimento, 2016.

A função do lúpulo na cerveja, antigamente, era a conservação, uma vez que ele é um agente bacteriostático, contudo ele foi um elemento que conferiu aromas e sabores a bebida. As substâncias responsáveis pelo sabor amargo são os ácidos do lúpulo, α -ácido (humulona) e β -ácido (lupulona) que isomerizam-se durante a fervura contribuem para a estabilidade do sabor e da espuma da cerveja (AQUARONE *et al.*, 2001; ROSA e AFONSO, 2015).

3.2.4 Leveduras

As leveduras são microrganismos unicelulares, pertencentes ao reino dos fungos. As leveduras são responsáveis pela fermentação da cerveja, ou seja, metabolizam os açúcares presentes no mosto cervejeiro convertendo-os em álcool e gás carbônico a fim de produzir uma cerveja com qualidade e estabilidade sensorial satisfatória. Os tipos de levedura mais utilizadas são a *Saccharomyces cerevisiae*

usada principalmente na fermentação de cerveja e cachaça e a *Saccharomyces uvarum* mais empregadas na fabricação de vinho (GONÇALVES, *et al.*, 2016).

A *Saccharomyces cerevisiae* é um tipo de levedura usado há muitos anos pelo homem. Sendo ela também é responsável pela fermentação do pão e outras bebidas fermentadas. Atualmente usa-se levedura em diferentes processos fermentativos, com a produção de variados tipos de produtos. Analisando sua atividade metabólica, pode se obter enzimas, vitaminas, proteínas, gorduras e outras (AQUARONE *et al.*, 2001).

A *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada para fazer alta fermentação, essa classificação se deve ao fato delas fermentarem em temperaturas mais altas (16-24°C) e se elevarem à superfície da cerveja no final da fermentação formando uma película flutuante. Essas leveduras são aplicadas para se obter cervejas do tipo Ale. A *Saccharomyces uvarum* é de baixa fermentação, ou seja, leveduras que fermentam em temperaturas mais baixas (9-15°C) e se depositam no fundo do fermentador ao final do processo. Esse tipo é utilizado para a fabricação de cervejas do tipo Lager (AIZEMBERG, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2016).

O tipo de levedura empregado na fermentação irá influenciar diretamente nas características de sabor e aroma presentes na cerveja. O sabor da cerveja é formado pela junção dos metabólitos excretados durante a fermentação, e depende do balanço global desses produtos, variando de acordo com a cepa de levedura, da temperatura e do pH de fermentação, do tipo e da proporção de adjunto, do modelo de fermentador e da concentração do mosto (AIZEMBERG, 2015; VENTURINI *et al.*, 2010).

3.2.5 Adjuntos

Os adjuntos de malte são definidos por Stewart (1994) *apud* Carvalho (2009), como qualquer fonte de carboidrato não maltado que irá contribuir com açúcares e amido no mosto. Eles vem sendo usados com intuito de reduzir os custos da produção, realizando uma técnica conhecida como high-gravity brewing, onde o mosto terá uma elevada concentração de açúcares e depois será diluído (AQUARONE, 2013).

Não existe uma regra específica para a utilização de adjuntos, entretanto há um decreto que regulamentariza essa ação. O decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a lei nº 8.918, de 14/07/1994 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento:

§ 4º Parte do malte de cevada poderá ser substituído por adjuntos cervejeiros, cujo emprego não poderá ser superior a quarenta e cinco por cento em relação ao extrato primitivo.

§ 5º Consideram-se adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira e os demais cereais aptos para o consumo humano, malteados ou não-malteados, bem como os amidos e açúcares de origem vegetal.

§ 6º Quando se tratarem de açúcares vegetais diferentes dos provenientes de cereais, a quantidade máxima de açúcar empregada em relação ao seu extrato primitivo será:

I - na cerveja clara, menor ou igual a dez por cento em peso;

II - na cerveja escura, menor ou igual a cinqüenta por cento em peso, podendo conferir ao produto acabado as características de adoçante; e

III - na cerveja extra, menor ou igual a dez por cento do extrato primitivo.

Os adjuntos são classificados em amiláceos e açucarados, conforme o tipo de carboidrato que predomina em sua composição. Dos adjuntos amiláceos, o milho na forma farinha grossa e o arroz na forma de quirera tem sido usados pelas cervejarias em todo o mundo. Dentre os adjuntos açucarados destacam-se os xaropes de cereais, sendo o de milho o principal deles. O açúcar comum (sacarose) e o invertido (xarope de glicose e frutose), provenientes da cana de açúcar ou beterraba sacarina, são usados eventualmente para corrigir o teor de extrato final do mosto (AQUARONE *et al.*, 2001; VENTURINI FILHO, 2000).

Muitos estudos sobre a utilização de adjuntos de malte tem sido realizados para a indústria cervejeira. Esses estudos tem sido motivados por muitos fatores como reaproveitamento de sub-produtos, redução de custos e a introdução de novos aromas e sabores as cervejas. Neste trabalho será feito o reaproveitamento da torta de macaúba excedente da extração do óleo.

3.2.6 Macaúba

A *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart, conhecida como macaúba, é uma palmeira da família botânica *Palmae* gênero *Acrocomia*. É uma espécie nativa das florestas tropicais que pode alcançar mais de 15 metros de altura e sua principal característica é a presença de espinhos. Esta palmácea tem se destacado pelo seu potencial para a produção de grandes quantidades de óleo por unidade de área (BHERING, 2010).

A macaúba se adapta facilmente a diferentes solos e climas, inclusive solos arenosos e com baixo índice hídrico. Possui ampla distribuição geográfica, se estendendo por todo Trópico americano, sendo mais abundante nas Antilhas, Costa Rica, Paraguai e Brasil, exceto Equador e Peru. Embora se adapte ao clima, se desenvolve melhor em regiões com estação chuvosa bem definida e de baixas altitudes (LORENZI, 2006).

No Brasil, tem-se ocorrência da espécie em todo território nacional, sendo a palmeira com maior dispersão territorial. Essa espécie apresenta elevadas concentrações nos biomas Cerrado e Pantanal, localizadas principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, São Paulo, Minas Gerais e Tocantins, como pode ser observado na Figura 5 (CICONINI, 2012).

Figura 5: Descrição territorial da Macaúba no Brasil.



Fonte: Pindorama Filmes (2010).

No estado de Minas Gerais, destaca-se nas regiões do Alto Paranaíba; na região de Montes Claros, norte de Minas; na região do Vale do São Francisco e Parnaíba e na Zona Metalúrgica, próximo a Belo Horizonte (MOTTA *et al*, 2002).

Devido a ampla distribuição geográfica, o nome popular dessa espécie varia de acordo com a região de ocorrência. No Brasil, além de macaúba, também é conhecida como macaúva, mucaja, mucuja, macaíba, macajuba, coco – baboso, coco – de – catarro, chiclete – de – baiano, bocaiúva, entre outros, dependendo da região (CARVALHO, 2011).

As macaúbas (Figura 6) são palmeiras robustas, podem atingir até 15 metros de altura e diâmetro de 20 a 30 cm e possuem estipe ereto e cilíndrico. Os espinhos escuros e pontiagudos encontram-se nos troncos, nas regiões dos nós. Sua folhagem é de aspecto plumoso, as folhas tem comprimento que variam de quatro a cinco metros e são ordenadas em diferentes planos. Os frutos são esféricos e achatados e o amadurecimento ocorre entre os meses de setembro a janeiro (MDA, 2014).

Figura 6: Palmeira da Macaúba localizada na UFMG.



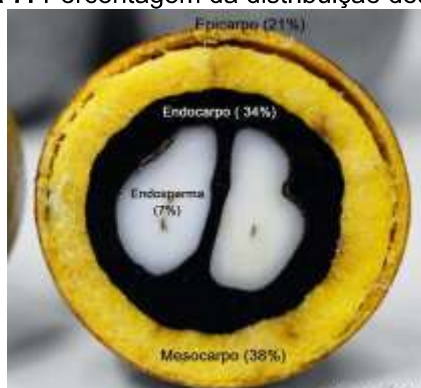
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

O fruto da macaúba, como mostrado na Figura 7, apresenta diâmetro de 2,5 a 5,0 cm, e fica disposto em cachos. Ele é formado por 20% de casca, 40% de polpa, 33% de endocarpo e 7% de amêndoa. A casca é de coloração marrom-amarelada e quando os frutos estão maduros elas se rompem facilmente. A polpa é comestível, fibrosa, de coloração amarelada e de sabor adocicado, e é dela que é retirada parte o

óleo. O endocarpo é de coloração negra e fica muito aderido a polpa. A amêndoa é oleaginosa, possui a maior parte do óleo da macaúba, e é envolvida pelo endocarpo sendo também comestível (CICONINI, 2012).

O fruto da macaúba pode ser aproveitada em sua totalidade, casca, polpa, castanha e amêndoa para diversos fins industriais. O óleo da polpa tem características semelhantes ao azeite de oliva e pode ser usado na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética entre outras (BARROS, 2012).

Figura 7: Porcentagem da distribuição dos frutos.



Fonte: Portal Macaúba Adaptado(2014).

A palmeira da macaúba pode ser aproveitada em sua totalidade, casca, polpa, castanha e amêndoa para diversos fins industriais. O óleo da polpa tem características semelhantes ao azeite de oliva e pode ser usado na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética entre outras (BARROS, 2012).

Quando se faz a extração do óleo da polpa, ocorre a geração de uma torta residual. Essa torta possui alto valor nutricional contendo muitos nutrientes e vitaminas além de proteínas, fibras, ferro, cálcio (PIMENTA, 2010). Segundo Ciconini (2012), essa torta obtida do processamento da polpa pode ser aproveitada de diversas maneiras, inclusive para consumo humano e animal.

Santos (2011), realizou em seus trabalhos, a caracterização da torta da polpa da macaúba e encontrou um perfil de açúcares solúveis e de amido que podem ser interessantes na utilização da torta como adjunto do malte, visto que a torta apresenta alto teor de amido, bem como de açúcares redutores, os açúcares usados pelas leveduras. Ele constatou ainda que ao desengordurar a torta da polpa, utilizando éter

como solvente, houve um aumento de 9,12% dos teores de açúcares, devido ao processo de extração do óleo com solvente remover parcialmente alguns componentes. A caracterização de Santos (2011) está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização da torta da macaúba.

Parâmetros	Torta integral	Torta desengordurada
	Média (%)	Média (%)
Umidade	2,52 ± 0,14	7,8 ± 0,23
Lipídeos	21,50 ± 1	4,7 ± 0,15
Cinzas	4,84 ± 0,1	4,19 ± 0,16
Proteína Bruta	6,35 ± 0,05	8,15 ± 0,01
AST	8,19 ± 0,63	11,48 ± 0,62
Amido	23,37 ± 0,5	23,16 ± 0,95
Fibra Bruta	8,70 ± 0,3	10,46 ± 0,2
FDA	11,70 ± 0,25	14,12 ± 0,91
FDN	21,10 ± 0,3	23,72 ± 0,36
Celulose	10,08 ± 0,8	11,49 ± 1,08
Hemicelulose	9,43 ± 0,15	9,6 ± 0,79
Lignina	0,38 ± 0,04	4,33 ± 0,12

Fonte: Adaptado de Santos, 2011.

AST = Açúcares solúveis totais. FDA = Fibras solúveis em detergente ácido. FDN = Fibras solúveis em detergente neutro. Torta desengordurada em éter.

Veridiano, (2012) também realizou a caracterização da torta residual da macaúba a fim de utilizá-la na produção de farinha alimentícia para a panificação e encontrou resultados semelhantes ao de Santos (2011). Os valores médios dos teores de proteína, lipídeos, cinzas, umidade, carboidratos e estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores Médios dos teores de Proteínas, Lipídeos, Cinzas, Umidade e Carboidratos da Torta Residual de Macaúba (% m/m).

Parâmetros	Teor (%) (b.s)
Proteínas	8,0 ± 0,5
Lipídeos	25,8 ± 0,2
Cinzas	4,4 ± 0,3
Umidade	8,4 ± 0,3
Acidez Titulável	2,7 ± 0,2
Carboidratos	53,4 ± 0,5
Rancidez	Negativo

Fonte: Adaptado de Veridiano, 2012.

Fazendo a análise comparativa das características do malte e da macaúba (Tabela 6) percebe-se que a macaúba tem grande potencial para ser usada como adjunto do malte, uma vez que apresenta teores de carboidratos e proteínas semelhante ao malte, além do amido e dos açúcares solúveis. Apesar dos teores de lipídeos residuais ainda serem altos isso não constitui um problema devido à ausência de rancidez. Contudo o alto teor de óleos interfere na estabilidade do paladar e na espuma da cerveja (D'AVILA *et al.*, 2012).

Tabela 6: Comparação das características do malte e da macaúba.

Parâmetros	Malte brasileiro (%) (b.s)	Torta de macaúba (%) (b.s)
Proteínas	10,22	8
Lipídeos	1,65	25,8
Cinzas	1,97	4,4
Umidade	5,5	8,4
Carboidratos	55	53,4
Rancidez	-	Negativo

Fonte: Adaptado de Aquarone (2001) e Verediano (2012).

4 METODOLOGIA

Para analisar os açúcares que estavam presentes no mosto realizou-se uma etapa de mosturação da seguinte maneira: uma com torta de macaúba, uma com malte *pilsen* e outra com 45% de macaúba e 55% de malte. Os experimentos foram realizados na Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto Paraopeba (CAP), situado em Ouro Branco, Minas Gerais. Este trabalho faz parte dos estudos desenvolvidos TECDEF - Grupo de Pesquisa de Desenvolvimento em Tecnologias de Bebidas Destiladas e Fermentadas da UFSJ em parceria com o grupo de pesquisa de Processos e Produtos do Fruto da Macaúba, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais.

4.1 Matéria-prima

Os frutos da palmeira da macaúba foram coletados no *campus* da Universidade Federal de Minas Gerais, situado em Belo Horizonte. Os frutos (Figura 8) foram selecionados e coletados em dias alternados, tentando evitar que eles ficassem em contato com o solo por muito tempo para reduzir o risco de contaminação por

microrganismos do solo. Após a coleta eles foram lavados com água e sabão, secos e armazenados em geladeiras.



Figura 8: Frutos da macaúba, coletados na UFMG.
Fonte: Autor, 2017.

A macaúba foi despulpada utilizando a despulpadeira do laboratório de Processos do Fruto da Macaúba, do Departamento de Engenharia Química, EEUFMG (Figura 9).



Figura 9: Despulpadeira.
Fonte: Autor, 2017.

Antes do despulpamento, com a macaúba higienizada, alguns dos frutos foram secados em estufa a 60°C e pesados, como é mostrado na Figura 10 (a). A cada batelada foram adicionados cerca de seis quilos da macaúba. O equipamento realiza primeiramente a retirada da casca, após um tempo ele começa a retirar a polpa da

macaúba até que essa seja totalmente retirada. A casca e a polpa saem na parte frontal da despulpadeira e as amêndoas saem pela lateral.

Após o despulpamento, a polpa da macaúba foi pesada e colocada em estufa a 60°C por aproximadamente 48 horas. A secagem é realizada para remoção parcial da umidade visando facilitar o processo de extração do óleo, pois, quando se tem teores menores que 20% de umidade o processo se torna mais eficiente e rápido. A secagem dos frutos e da polpa está ilustrada na Figura 10.

Figura 10: Secagem dos frutos (a) e polpa (b) em estufa a 60°C.



Fonte: Autor, 2017.

Depois das 48 horas a polpa desidratada foi cominuída (Figura 11) para redução de tamanho. Esse processo foi realizado em liquidificador industrial, tomando o devido cuidado para não diminuir demais as partículas, o que poderia prejudicar a extração do óleo.



Figura 11: Figura (a) polpa desidratada após 48 horas. Figura (b) Polpa cominuída em liquidificador industrial.

Fonte: Autor, 2017.

O óleo foi extraído da polpa utilizando a prensa (Figura 12) do laboratório de Processos do Fruto da Macaúba, do Departamento de Engenharia Química, EEUFMG. A polpa da macaúba desidratada e cominuída foi colocada na prensa, onde uma rosca Sem Fim a levou até um eixo mais estreito forçando a passagem da mesma, então por meio da força mecânica a torta é prensada e se obtém o óleo de macaúba e a torta residual. A torta foi recolhida e utilizada nesse trabalho e o óleo foi filtrado e armazenado para posteriores pesquisas do grupo.



Figura 12: Prensagem da polpa de macaúba para extração do óleo em prensa mecânica.
Fonte: Autor, 2017.

4.2 Mosturação

O TECDEF juntamente com o grupo de pesquisa de Processos e Produtos do Fruto da Macaúba, do Departamento de Engenharia Química da UFMG realizou por meio dos trabalhos de Nascimento (2016) e Souza e Cardozo (2017) pesquisas com cerveja e torta de macaúba. Nesse trabalho foi utilizado a receita adaptada de Souza e Cardozo (2017).

As quantidades de malte e macaúba utilizadas na mosturação foram baseadas na receita original, descrita na Tabela 7.

Tabela 7: Receita original da Cerveja

Quantidades	Insumo
0,590 kg	Malte Pilsen Agrária
0,230 kg	Malte Pale Ale Agrária
0,270 kg	Torta de Macaúba
0,00725 kg	Lúpulo Fuggles
0,0075 kg	Lúpulo Perle
0,005 kg	Levedura Saison
5 l	Água

Fonte: Souza, Cardozo, 2017.

Neste trabalho avaliou-se apenas a mosturação, assim não adicionou-se lúpulo e levedura. As mosturações realizadas estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8: Dados da mosturação.

Batelada	Composição	Quantidade (kg)
1	Malte <i>pilsen</i>	0,218
2	Torta de Macaúba	0,218
3	Malte pilsen + Torta de Macaúba	0,12 + 0,098

Fonte: Autor, 2017.

A água utilizada para a mosturação, foi filtrada em filtros de três membranas, duas de celulose e uma de carvão ativado, que retira as impurezas e principalmente o cloro presente na água. A mosturação ocorreu em painéis de alumínio convencional de 2 litros.

Para a mosturação foram escolhidas três temperaturas, baseadas na atividade das enzimas. A primeira rampa ocorreu a 45°C, onde as enzimas desramificadoras, que dão início ao processo de hidrólise do amido tem atividade ótima. A segunda rampa foi de 66°C para que as enzimas α e β -amilase fizessem a conversão do amido em açúcares solúveis. E a terceira rampa ocorreu a 75,6°C para a inativação enzimática.

Assim, 0,5 litros de água foram aquecidos até 45 °C. Em seguida, adicionou-se as matérias-primas, cada uma na sua devida proporção. Essa temperatura foi mantida durante trinta minutos para que ocorresse o repouso das enzimas desramificadoras. Durante essa etapa ocorre a ativação das enzimas do malte para liberação dos açúcares contidos nos grãos. A temperatura foi monitorada com auxílio de um termômetro.

Após os trinta minutos a temperatura foi elevada para 66°C e permaneceu assim por quarenta minutos. Esta é temperatura da sacarificação, onde ocorre a conversão do amido em açúcares redutores. Para verificação da conversão do amido em açúcar realizou-se o teste do iodo e mediu-se a densidade.

Em seguida foi realizada a etapa do *Mash-out*, onde ocorreu a elevação da temperatura até 75,6°C para a inativação das enzimas. Manteve-se essa temperatura por dez minutos, sem agitação.

Posteriormente a essas etapas, adicionou-se mais 0,5 litros de água a 75,5 °C ao mosto. Essa etapa é conhecida como recirculação do mosto e tem a finalidade de “lavar” a matéria-prima a fim de extrair mais açúcares fermentescíveis. Ao final desta etapa, foi realizada a leitura do °Brix, com o refratômetro, verificando assim a concentração de açúcar no mosto. Se fosse dar continuidade a produção de cerveja e a concentração de açúcares estivesse acima do necessário, poderia ser acrescentado água ao o volume do mosto, de acordo com a Equação 1.

$$C1*V1=C2*V2 \quad \text{(EQ. 1)}$$

Onde:

- C1 = Concentração inicial (°Brix);
- V1 = Volume inicial;
- C2 = Concentração final (°Brix);
- V2 = Volume final;

Para realizar as análises das matérias-primas *in natura* preparou-se uma solução com 5g de amostra e água destilada até completar o volume para 100 mL. Essa solução foi utilizada para fazer o teste do iodo, a medição de ° Brix e a análise do DNS.

4.3 Teste do Iodo

O teste do iodo detecta qualitativamente o nível de conversão de amido em açúcar. Esse teste utiliza a comparação de cores e para isso, algumas gotas da solução de iodo são colocada em uma placa de petri, sobre o iodo são adicionado

algumas gotas do mosto ou da solução de interesse. Se essa mistura apresentar cor preta significa que ainda existe amido para ser convertido em açúcar. Se a cor da mistura não mudar, ou seja, se ficar parecida com a cor do iodo, significa que todo o carboidrato foi convertido em açúcar (DINSLAKEN, 2016).

O teste do iodo foi realizado em quatro momentos da mosturação, visando acompanhar o processo de conversão do amido.

4.4 Análise do °Brix

O Brix é uma unidade de medida de teor de sólidos solúveis em uma solução, ele equivale a quantidade de açúcar diluído em 100 g de solução. O instrumento utilizado para medir o °Brix foi o refratômetro de campo (Figura 13), que mede o índice de refração de sólidos diluídos em líquidos, para isso, basta adicionar algumas gotas de solução na lente, fechar a tampa e analisar (FANGMEIER, 2017)



Figura 13: Refratômetro de campo.
Fonte: FANGMEIER, 2017.

O °Brix, permite ainda calcular a densidade específica (SG) do mosto, aspecto importante na mosturação e na qualidade final da cerveja.

A conversão de °Brix para densidade é realizada por meio de duas conversões, a primeira de °brix para °Plato e depois para densidade.

Assim, para converter de °Brix para °Plato, divide-se o número em °Brix por 1,04. E para converter de °Plato para SG, multiplica-se o valor em °Plato por 4. O valor será os dígitos após o zero depois da virgula (1.0XX) (MALTE NO CANECO, 2016).

4.5 Análise de açúcares redutores pelo método do 3,5-dinitrosalicílico (DNS)

Os açúcares redutores são carboidratos com o grupo carbonílico livre, e assim, são moléculas facilmente oxidadas por agentes oxidantes em meio alcalino. O método de análise de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), baseia-se na reação entre o açúcar redutor e o DNS, agente oxidante de cor amarela. O DNS, em condições alcalinas, reage com o carbono carbonílico dos açúcares redutores e é reduzido ao ácido 3-amino-5-nitrosalicílico, um composto de cor avermelhada, de absorção máxima de luz em 540 nm (MALDONADE; CARVALHO; FERREIRA, 2013; SANTOS, 2017).

Para o método do DNS, transferiu-se uma alíquota de cada amostra para tubos de ensaio. Adicionou-se o reagente DNS a cada tubo. A mistura foi agitada vigorosamente em vortéx. Os tubos foram incubados em banho termostático com água em ebulição (100 °C) por cinco minutos. Esperou-se as amostras resfriarem e foi-se adicionado água destilada. Após homogeneização, realizou-se a leitura da intensidade da cor em espectrofotômetro a 540 nm, previamente calibrado com o branco.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Matéria-prima

A despulpadeira tem capacidade de despolar cerca de 6kg de fruto da macaúba por batelada. Realizou-se três bateladas. A primeira parte a sair da despulpadeira é a casca da macaúba, depois a polpa e por último a amêndoa. Nos primeiros testes foi possível perceber que a polpa da macaúba sai em diferentes tonalidades, dependendo do tempo de processamento, desta forma após a segunda batelada as polpas foram classificadas em A, B e C. A primeira polpa a sair, foi classificada como polpa A, ela tem uma tonalidade mais clara, pois é composta somente pela polpa. A segunda polpa, denominada B, é um pouco mais escura, isso

se deve provavelmente ao endocarpo que começa a ser retirado junto com a polpa. E a última polpa, a polpa C já é bem mais escura, pois boa parte do endocarpo foi retirado e misturou-se com a polpa. As duas primeiras bateladas foram realizadas sem a secagem prévia dos frutos, já na terceira os frutos foram secos em estufa por cerca de 4 horas a 60°C, para analisar como seria a característica da polpa. O resultado das bateladas está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Dados sobre a despulpagem da Macaúba.

Parte das macaúba	1º Batelada (6kg)	2º Batelada (6Kg)	3º Batelada* (5,721 kg)
Casca (Kg)	1,815	1,509	1,436
Polpa A (Kg)	1,99	1,392	1,113
Polpa B (Kg)	0,207	0,975	0,339
Polpa C (Kg)	-	-	0,09
Amêndoa (Kg)	1,714	1,285	1,236
TOTAL (Kg)	5,726	5,161	4,214
Rendimento (%)	95	86	74

*Batelada de frutos secos em estufa. Fonte: Autor, 2017

Diante dos dados, o melhor rendimento foi na primeira batelada, visto que nela foi possível obter maior quantidade de polpa. Entretanto foi possível observar que na despulpagem dos frutos secos, há uma separação melhor da casca e da polpa, a primeira polpa a sair sai quase sem vestígios de casca. Apesar da quantidade de polpa C ser inferior a polpa A e B, essa pequena quantidade é importante para aumentar o rendimento da extração dos óleos.

Após a despulpagem, 2,096 kg da polpa A foram secos em estufa a 60°C por 48 horas para a realização deste trabalho, porém passado esse tempo verificou-se que a polpa continha partes ainda úmidas, então as que já estavam secas foram pesadas e cominuídas em liquidificador industrial e as que ainda estavam úmidas permaneceram na estufa por mais 2 horas e antes de serem processadas foram pesadas. Foi possível observar que as polpas que ficaram no centro da bandeja foram as que ficaram mais úmidas, portanto para uma próxima secagem é recomendado que na metade do tempo as polpas sejam manipuladas para que haja uma secagem por completo.

A polpa seca e cominuída foi prensada para extração do óleo e obtenção da torta. Como foi prensada apenas 0,860 Kg de polpa o rendimento não foi como o esperado. O resultado dessa prensagem está apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Resultado obtido na prensagem da polpa para a extração do óleo.

Polpa Úmida (Kg)	Polpa desidratada (Kg)	Massa de óleo (Kg)	Massa de torta (Kg)
2,096	0,86	0,280	0,296

Fonte: Autor, 2017

A partir desse dados, calculou-se a composição teórica da polpa da macaúba, bem como o teor de óleo residual na torta baseados nas equações de I a V:

- I. Balanço geral do processo => 0,280 Kg de Massa de óleo + 0,296 Kg de Massa de torta + 0,284 Kg de perdas = 0,86 Kg de Polpa processada.
- II. Massa de óleo inicial na polpa desidratada => 0,86 Polpa desidratada x 0,6 (porcentagem de óleo) = 0,516 Kg.
- III. Massa de óleo das perdas = 0,284 Kg de Perdas x 0,6 (porcentagem de óleo) = 0,1704 Kg
- IV. Massa de óleo na torta prensada = 0,516 Kg de massa de óleo inicial na polpa - 0,280 Kg de massa de óleo extraído - 0,1704 Kg de massa de óleo nas perdas = 0,0656 Kg
- V. Porcentagem de óleo estimado na torta = $\frac{\text{Massa de óleo na torta}}{\text{Massa de torta}} = \frac{0,0656}{0,296} = 0,2195$ ou 21,95%.

A Tabela 11 apresenta um resumo dos dados acima.

Tabela 11: Dados da estimativa da prensagem da polpa de macaúba.

Massa de óleo inicial na polpa	Massa de óleo das perdas	Massa de óleo na torta	Porcentagem de óleo estimado na torta
0,516 Kg	0,1704 Kg	0,065 Kg	21,95%

Fonte: Autor, 2017.

O valor da porcentagem de óleo é apenas uma estimativa, pois no decorrer do processo, não foram contabilizados os valores exatos das perdas.

É importante considerar ainda que a estrutura da prensa mecânica utilizada gera grandes perdas, devido ao tamanho do eixo de rotação, pois ele é grande e precisa ser preenchido com a polpa para iniciar a extração. Sendo assim, a prensagem deve ocorrer com um volume grande de polpa desidratada, para evitar perdas significativas a cada prensagem.

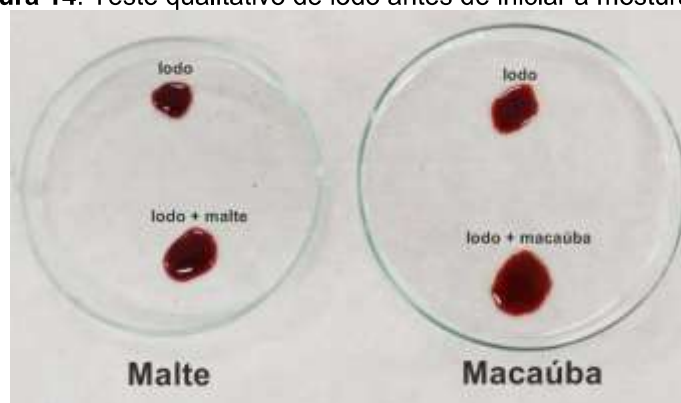
Um fator a ser analisado é na sazonalidade do fruto, a macaúba é um fruto que fica maduro de novembro a fevereiro na região de Belo Horizonte, por isso faz-se necessário colher o máximo de frutos, processa-los e armazená-los adequadamente para que os estudos possam prosseguir durante o ano.

5.2 Mosturação

Antes de iniciar a mosturação foram analisadas as quantidades de açúcares redutores e amido na torta de macaúba e no malte, bem como o teste do iodo e o °Brix.

A análise do amido foi realizada através do método qualitativo do teste de iodo. A solução de malte e de torta de macaúba foram utilizadas para análises das matérias-primas antes de iniciar o procedimento.

Figura 14: Teste qualitativo de iodo antes de iniciar a mosturação.



Fonte: Autor, 2017.

A figura 14, ilustra o teste do iodo. A partir do teste de iodo, pode-se observar que inicialmente não havia quantidade significativa de amido disponível, pois as duas soluções apresentam coloração igual. Esse resultado era esperado, pois as enzimas

desramificadoras precisam atuar na hidrólise do amido para ocorrer a liberação das moléculas menores e essas reagirem com o amido.

Das soluções preparadas, mediu-se também o Brix e os valores encontrados foram: 7° Brix para o Malte pilsen e 6,9° Brix para a torta de macaúba. Valores corrigidos de acordo com a literatura para a temperatura de 40°C.

Foram realizadas três bateladas denominadas da seguinte forma:

- Batelada 1: Mosturação utilizando somente malte pilsen;
- Batelada 2: Mosturação utilizando somente torta de macaúba;
- Batelada 3: Mosturação utilizando 55 % de malte pilsen e 45% de torta de macaúba;

O processo de mosturação ocorreu conforme descrito na metodologia no item 4.2 deste trabalho. Inicialmente, devido ao fogão tipo fogareiro ser de duas bocas foram realizadas as bateladas 1 e 2 e posteriormente a batelada 3. Ao aquecer a batelada 2 percebeu-se que a mistura ficou muito viscosa e com coloração escura, aspecto muito diferente do mosto com o malte. O mosto com a mistura de malte e torta de macaúba não ficou muito viscoso aparentemente, mas houve uma mudança significativa na coloração quando comparado com o mosto de malte pilsen.

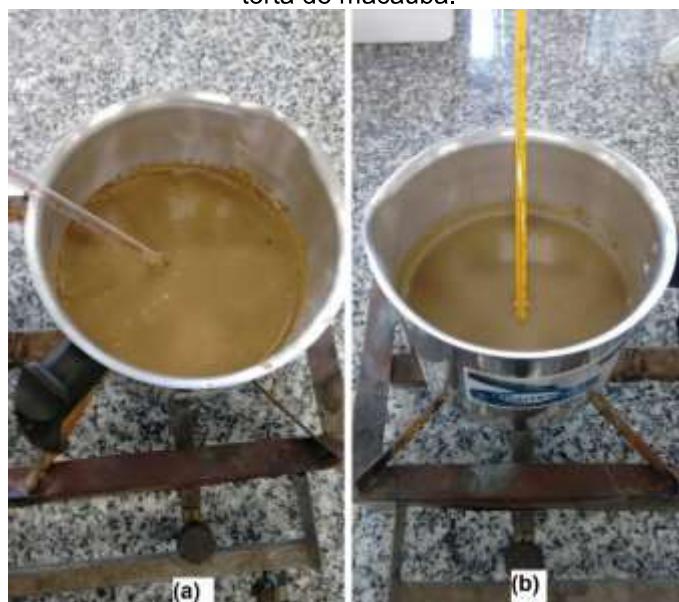
As bateladas 1 e 2 podem ser visualizadas nas Figuras 15 e 16, respectivamente.

Figura 15: Mosturação com malte pilsen (direita) e macaúba (esquerda).



Fonte: Autor, 2017

Figura 16: Figura (a) Mosturação da torta da macaúba. Figura (b) Mosturação com malte pilsen e torta de macaúba.



Fonte: Autor, 2017.

A Figura 17 mostra a diferença de cores das amostras, sendo 1 – mosto com 100 % malte; 2 – mosto com 100 % de torta de macaúba; 3 – solução de malte; 4 – solução de torta de macaúba.

Figura 17: Comparação das cores das amostras avaliadas neste trabalho.



Fonte: Autor, 2017

A temperatura durante a mosturação seguiu as rampas representadas na Figura 18. A temperatura o pH foram medidos para o controle. Como a mosturação foi realizada em pequeno volume, houve dificuldade para controlar a temperatura. O pH

foi analisado por um pHmetro e permaneceu constante em todo o processo, ficando em pH=5. Essa faixa de pH é a faixa ideal das enzimas desramificadoras, das β -amilases e α -amilases, sendo assim, não houve necessidade de modificação do mesmo.

Figura 18: Rampas de temperaturas realizadas.



Fonte: Autor, 2017.

5.3 Teste do Iodo

O teste do iodo foi realizado em quatro momentos, após 50 minutos do início, 60 minutos, 70 minutos e 80 minutos, que é o final da mosturação.

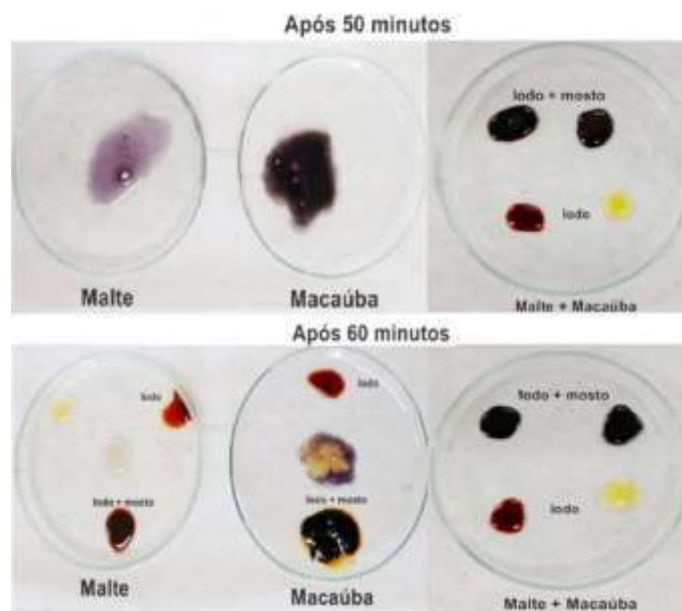
- ***Após 50 minutos: 30 minutos a 45°C e 20 minutos a 66°C***

Neste tempo todas as três bateladas continham grande quantidade de amido, pois o teste do iodo apresentou coloração preta. No mosto com torta de macaúba havia grande quantidade de amido, devido a coloração mais escura do que o malte, como apresentado na Figura 19.

- ***Após 60 minutos: 30 minutos a 45°C e 30 minutos a 66°C***

Passado esse tempo verificou-se pela coloração, que ainda havia amido no mosto das três bateladas. Pode-se notar na Figura 19 como a coloração do mosto com torta de macaúba ficou demasiadamente escura.

Figura 19: Teste do Iodo realizado após 50 e 60 minutos na mosturação de 100% malte pilsen, 100 % torta de macaúba e o mosto com 55% de malte pilsen e 45% torta de macaúba.



Fonte: Autor, 2017.

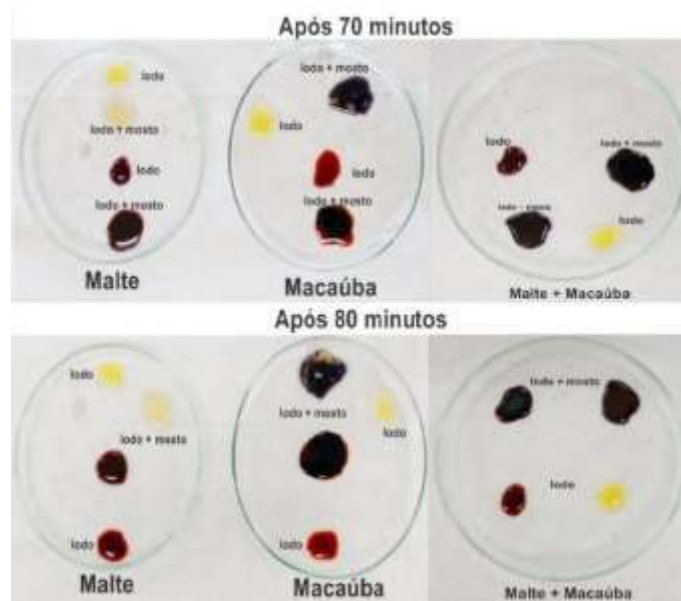
- **Após 70 minutos: 30 minutos a 45°C e 40 minutos a 66°C**

Esse foi o tempo total estipulado inicialmente. A diferença de cor do iodo para o mosto de malte pilsen ainda era perceptível, apesar de ter clareado. Já o mosto com a torta de macaúba pura e o mosto com malte e torta de macaúba apresentaram uma colocação bem diferente do iodo, indicando que o teor de amido ainda era alto. Essas observações podem ser observadas na Figura 20. Sendo assim, decidiu-se adicionar 250 ml de água a 66°C e deixar mais 10 minutos.

- **Após 80 minutos: 30 minutos a 45°C e 50 minutos a 66°C**

Após os 80 minutos realizou-se o teste novamente e pode-se observar que a coloração da amostra com o malte pilsen estava bem parecida com o iodo, isso significa que o amido foi convertido em açúcares. Na amostra com a torta de macaúba pura a coloração permaneceu bastante escura e na mistura de malte e torta de macaúba foi notado um pequeno clareamento, mas ainda indicando que o amido não foi convertido, como observado na Figura 20.

Figura 20: Teste do Iodo realizado após 70 e 80 minutos na mosturação de 100% malte pilsen, 100 % torta de macaúba e o mosto com 55% de malte pilsen e 45% torta de macaúba.



Fonte: Autor, 2017.

Após a constatação de que o amido do mosto com 100% malte pilsen havia sido convertido, adicionou-se mais 250 ml de água 66° C em todas as amostras e a temperatura foi elevada para 75,5°C para a inativação enzimática. Todas as amostras foram filtradas em saco cervejeiro e o filtrado foi utilizado para as análises.

5.4 Análise do °Brix

Batelada 1: 100% malte pilsen

Como era esperado no mosto com 100 % malte pilsen as enzimas desramificantes, as β -amilases e as α -amilases, atuaram na conversão dos amido em açúcar fermentescível. Ao final dessa mosturação a concentração de açúcares estava a 17,3 °Brix, feitas as correções, e a densidade estava a 1,071 SG. Caso a intenção deste trabalho fosse produzir a cerveja o ideal seria diluir esse mosto para a densidade de 1,036 SG. Os cálculos de diluição são realizados por meio da Equação 1, na sessão 4.2, onde se tem as concentrações iniciais e finais e os volumes iniciais e finais.

Batelada 2: 100 % de torta de macaúba

A mosturação com 100% de torta de macaúba foi realizada como forma de teste inicial para verificar se há a presença alguma enzima presente na torta. Como forma

de avaliar a presença delas, foi realizado essa mosturação nas temperaturas em que as enzimas do malte atuam, ou seja, a 45°C as enzimas desramificantes, que degradam o amido tem atividade ótima, isso significa que se houvesse alguma enzima presente na torta o amido seria hidrolisado. Esse teste também avaliou se haveria β -amilase ou α -amilase nesta torta utilizando a temperatura ótima de 66°C para atuação dessas enzimas.

Conforme apresentado, nas Figuras 19 e 20, o teste do iodo mostrou que o amido não estava sendo degradado, visto que a cor da mistura iodo + mosto permaneceu inalterada durante todo o processo. Outra forma de avaliar se a mosturação estava ocorrendo corretamente foi através da análise do °Brix. Após essa mosturação a concentração de açúcares estava a 11° Brix e a densidade a 1,044 SG. O °Brix ficou dentro do esperado, contudo, o refratômetro faz a análise baseado na refração da amostra com a luz, e quantifica os sólidos solúveis contidos em uma solução. Os resultados do °Brix refratométrico são os mais próximos dos sólidos reais dissolvido, ou seja, quantifica o total de todos os sólidos dissolvidos na água, como açúcar, sais, proteínas, ácidos, e outros, e é menos afetado pelos sólidos suspensos no mosto (SANTOS, *et al*, 2013).

Como a amostra do mosto 100 % de torta de macaúba estava muito escura, apesar de ter sido diluída 30 vezes, essa solução provavelmente continha outros sólidos dissolvidos além de açúcar, o que pode ter afetado o resultado do °Brix.

Uma forma de contornar esse problema seria não utilizar métodos que fazem a análise pelo índice de refração. A utilização de métodos analíticos mais precisos como a cromatografia líquida de alta desempenho acoplada a espectrômetro de massa (HPLC-MS) poderia melhorar a precisão dos resultados permitindo a identificação e quantificação de todos os carboidratos de interesse presentes na amostra. Essa análise se baseia na separação de diferentes substâncias de acordo com a sua afinidade com a fase móvel, eluente, e a fase estacionária, coluna pela afinidade das fases utilizadas na coluna de adsorção (AIR PRODUCTS, 2017).

Batelada 3: 55 % de malte pilsen e 45% de torta de macaúba

A batelada com a junção de malte e torta de macaúba também foi realizada de forma experimental, analisando qual seria a interação desses dois produtos. Então foi utilizada a mesma temperatura das bateladas anteriores para se obter um mesmo parâmetro de comparação.

O ° Brix mostrou que a concentração de açúcares estava a 15 ° Brix e a densidade a 1,061 SG. Assim como na batelada 2, a concentração dos sólidos solúveis pode ter afetado essa leitura.

5.5 Análise de açúcares redutores pelo método do 3,5-dinitrosalicílico (DNS)

Antes de quantificar os açúcares foi necessário construir uma curva padrão de glicose, que foi usada como parâmetro para se obter a concentração. A curva padrão de glicose foi construída a partir dos dados da Tabela 12. Todas as análises foram feitas em triplicata e fez-se a média do valores para calcular a concentração de glicose.

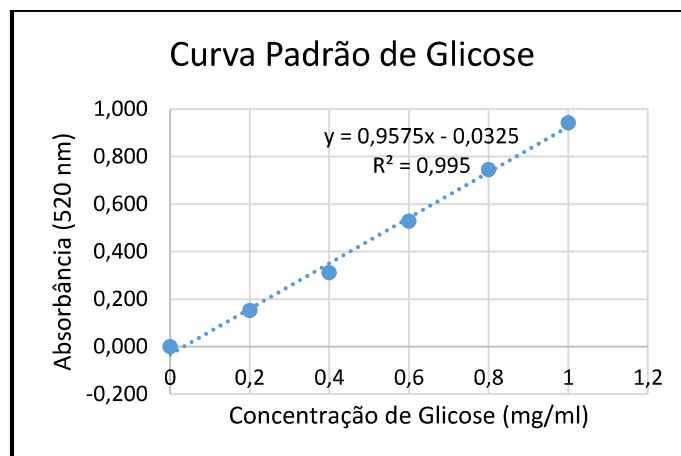
Tabela 12: Dados da curva padrão de glicose.

Curva Padrão						
Tubos	Padrão de glicose (ml)	Absorbância (520 nm)			Média	Concentração de Glicose (mg/ml)
		1	2	3		
1	0,04	0,142	0,159	0,155	0,152	0,2 ± 0,005
2	0,08	0,352	0,259	0,323	0,311	0,4± 0,027
3	0,12	0,563	0,496	0,525	0,528	0,6± 0,019
4	0,16	0,775	0,724	0,736	0,745	0,8± 0,015
5	0,2	0,957	0,94	0,927	0,941	1 ± 0,008
Branco	0	0	0	0	0,000	0

Fonte: Autor, 2017.

Com os dados da Tabela 12, plotou-se a curva padrão de glicose, apresentada na Figura 21.

Figura 21: Curva padrão de glicose.



Fonte: Autor, 2017.

O ajuste da regressão linear é utilizado para obter uma equação que explica a relação entre uma variável dependente por uma variável independente. O coeficiente de determinação, R^2 é um dado auxiliar que comprova se o modelo da regressão utilizado é adequado para o caso ou não. O valor de R^2 deve ser próximo de 1 para indicar que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno (PETERNELLI, 2009).

Segundo a regressão linear e o coeficiente de correlação, o ajuste ao modelo utilizado na equação é adequado, uma vez que ele se aproxima de 1.

Da mesma forma como foi realizada a curva padrão de glicose, foi realizado a análise das matérias-primas antes da mosturação, bem como as três bateladas. A Concentração de glicose nas amostras antes do processo estão representadas na Tabela 13.

Tabela 13: Dados da concentração de glicose e ° Brix do malte e da torta de macaúba.

Amostras	Concentração de glicose (mg/ml)	° Brix
Malte pilsen	2,215 ± 0,007	7
Torta de Macaúba	2,319 ± 0,019	6,9
Branco	0	0

Fonte: Autor, 2017.

Esse resultado demonstra que inicialmente o malte pilsen e a macaúba não contém quantidades significativas de açúcares redutores. E apresenta a diferença do

resultado do °Brix, que foi de 7° Brix para o malte pilsen e 6,9° Brix para a macaúba. A diferença nos resultados pode ser explicada pela especificidade das análises, uma vez que o método do DNS é uma análise mais específica, que se baseia somente na reação dos açúcares redutores com o agente oxidante. Já o ° Brix, como explicado, mede a concentração de sólidos solúveis e não especificamente os açúcares.

O resultado do teste do DNS para as três bateladas está representado na Tabela 14, a seguir.

Tabela 14: Concentração de glicose, ° Brix e densidade nos mostos analisados.

Amostras	Concentração de glicose (mg/ml)	° Brix	Densidade
Batelada 1	10,906 ± 0,15	17,3	1,071
Batelada 2	3,658 ± 0,08	11	1,044
Batelada 3	5,517 ± 0,18	15	1,061

Fonte: Autor, 2017.

Como a torta da macaúba apresenta certa quantidade de óleo residual foi necessário diluir a amostra para a leitura no espectrofotômetro, pois as amostras estavam turvas.

Uma análise da mosturação a partir dos dados de concentração de glicose, ° Brix e densidade do mosto permite fazer uma comparação das três bateladas realizadas. A Tabela 14 mostra que mesmo sendo análises diferentes, os dados tem coerência e mostram que a primeira batelada, realizada com malte pilsen teve a maior concentração de glicose, o maior °brix e a maior densidade. Esses fatos mostram que as enzimas do malte, nas temperaturas utilizadas e no pH de 5, fizeram a conversão do amido em açúcares fermentescíveis, o que ocasionou o aumento da concentração de glicose de 2,215 mg.ml⁻¹ para 10,906 mg.ml⁻¹ e do ° Brix de 7 para 17,3.

Na batelada 2, feita com torta de macaúba a ação das enzimas não foi perceptível pelos métodos utilizados neste trabalho, uma vez que a concentração de glicose aumentou muito pouco, de 2,319 mg.ml⁻¹ para 3,658 mg.ml⁻¹ e o ° Brix aumentou de 6,9 para 11.

Na batelada 3, realizada com 55% de malte e 45% de torta de macaúba ocorreu a ação das enzimas, visto que o mosto ficou com concentração de glicose em 5,517 ng.ml⁻¹, 15 ° Brix e a densidade de 1,061. Então foi possível observar que as enzimas do malte atuaram na conversão do amido em açúcares fermentescíveis da torta da macaúba.

6 CONCLUSÃO

A despulpadeira mostrou-se eficiente, esse equipamento otimiza o tempo e melhora o rendimento de polpa, pois as amêndoas saem limpas quase sem polpa. Na metodologia de despulpagem utilizada por Souza e Cardoso (2017) ocorria mais perdas devido ao processo ser manual.

O processo de secagem, tanto dos frutos quando da polpa, ainda deve ser avaliado, buscando encontrar o teor de umidade ideal, para a otimizar o processo de extração do óleo de macaúba.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que as enzimas presente no malte são necessárias para a conversão de açúcares durante a mosturação, uma vez que a batelada sem o malte teve um baixo teor de açúcares redutores e também no teste do iodo o resultado mostrou que o amido não foi convertido. Além disso, a torta de macaúba apresenta outros sólidos solúveis ao mosto que influenciaram na análise do °Brix, por isso é necessário avaliar a fermentação para saber o resultado deste mosto.

A partir desse estudo foi possível compreender melhor o comportamento da torta de macaúba na mosturação. Nesses testes iniciais ela não apresentou atividade enzimática, nas condições ótimas utilizadas. Entretanto, para comprovar esse fato é necessário realizar uma análise específica para cada tipo de enzima, no caso as desramificadoras, as α -amilases e as β -amilases, para saber se alguma dessas está presente na torta de macaúba.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Construir uma curva de secagem para os frutos e para a polpa, visando obter o teor de umidade ideal.
- Avaliar a composição completa da torta da macaúba, dando enfoque nos tipos de carboidratos.
- Avaliar qual a proporção de torta de macaúba e malte ideal, através de um planejamento experimental.
- Avaliar a produção completa da cerveja das diferentes proporções de torta de macaúba e malte.

8 REFERÊNCIAS

ABOUMRAD, Jean Pierre Cordeiro; BARCELLOS, Yvie Carolinne Medeiros. Análise e simulação das operações de mosturação e fermentação no processo de produção de cervejas. 2015. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Niversidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

AIR PRODUCTS. Aplicações em laboratórios de análise: Cromatografia líquida com espectrômetro de massa (LC-MS). 2016-2017. Disponível em: <<http://www.airproducts.com.br/industries/Analytical-Laboratories/analytical-lab-applications/product-list/liquid-chromatography-with-mass-spectrometer-lc-ms-analytical-laboratories.aspx?itemId=BA1AEFB4DC584D8495B390A4877D0387>> Acesso em: 14 dez. 2017.

AIZEMBERG, Raquel. Emprego do caldo de cana e do melado como adjunto de malte de cevada na produção de cervejas. 2015. 272 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Microbiologia Aplicada, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

AMBROSI, A. Desalcoolização de cerveja – Avaliação da remoção de etanol de soluções aquosas por osmose direta. 2016. 253p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2016.

AQUARONE, E. 2013. "Biotecnologia da Produção de Alimentos". P. 91-144 in Biotecnologia Industrial

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U.A. Biotecnologia Industrial. 1ª edição, Vol 4, São Paulo: Blucher, 2001. 524p.

BAMFORTH, C. W. Nutritional aspects of beer - a review. Nutrition Research, v. 22, p. 227–237, 2002.

BANDINELLI, Paola Cunha. Estudo de caso de melhoria no Processo de Mosturação de uma cervejaria no RS. 2015. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BARROS, Chiara Rêgo; GHESTI, Grace Ferreira. Malte: essência da cerveja. Brasília: Universidade de Brasília, 2016. 30 p.

BARROS, T. D., JARDINE, J. G. Macaúba. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2012. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe363t6iak.html>> Acesso em 18 de novembro de 2017.

BHERING, L. Macaúba: matéria-prima nativa com potencial para a produção de biodiesel. Portal Dia de Campo. 2010. Disponível em <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21272&secao=Artigos%20Especiais>> Acesso em 22 de novembro de 2017.

BRANDAM, Cedric; MEYER, Xuan. An original kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing. Biochemical Engineering Journal. Toulouse, p. 43-52. jul. 2002.

CARVALHO, G.B.M. Obtenção de Cerveja usando Banana como Adjunto e Aromatizante. 2009. 163 p. Tese (Doutor em Biotecnologia Industrial) - Universidade De São Paulo, Lorena, 2009.

CARVALHO, K. J., SOUZA, A. L., MACHADO, C. C. Macaúba | *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart. - Ecologia, Manejo, Silvicultura e Tecnologia da Macaúba. Viçosa – MG, 2011.

CERVESIA. Brasil chega à 500 microcervejarias em 2017, aponta levantamento do Instituto da Cerveja. 2016. Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/noticias/noticias-de-microcervejaria/256-brasil-chega-à-500-microcervejarias-em-2017,-aponta-levantamento-do-instituto-da-cerveja.html>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

CERVESIA. Brasil: 148 novas cervejarias registradas em 2016. 2017. Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/noticias/noticias-de-mercado-ervejeiro/4295-brasil-148-novas-ervejarias-registradas-em-2016.html>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

CICONINI, G. Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. 2012. 128 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2012.

CORREIO DO POVO. Surge a 2º cervejaria do mundo. 2004. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/jornal/A109/N156/PDF/Fim14.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

D'AVILA, R.F.; LUVIELMO, M.M.; MENDONÇA, C.R.B.; JANTZEN, M.M. Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações. Estudos Tecnológicos em Engenharia, vol. 8, N. 2, p. 60-68, jul/dez 2012.

DINSLAKEN, Daniel. **Teste do iodo: como, quando e qual a importância?** 2016. Disponível em: <<https://concerveja.com.br/2016/06/23/teste-iodo/>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

FANGMEIER, Michele. **Determinação do grau Brix**. 2017. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/industria/radar-tecnico/gestao-da-qualidade-e-processos/determinacao-do-grau-brix-104358n.aspx>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

GONÇALVES, André de Freitas; PAIVA, Cristiano Luna; CRUZ, Daniele Bento; FERREIRA, Jonathan Goulart; MARTINS, Jorge Maciel. Produção Artesanal de Cerveja. 2016. 148 f. Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LORENZI, G. M. A. C., NEGRELLE, R. R. B. *Acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. Ex mart: aspectos ecológicos, usos e potencialidades, *acrocomia aculeata* (jacq.) Lodd. Ex mart.: ecological aspects, uses and potentialities. 2006. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/academica/article/viewFile/9021/6314>> Acesso em 15 de novembro de 2017

LUFT, Luciana. Hidrólise Enzimática do Bagaço de Malte Usando Tecnologias Alternativas Visando À Obtenção de Açúcares Fermentescíveis. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, 2016.

MALDONADE, Iriani R.; CARVALHO, Patrícia G. B.; FERREIRA, Nathalie A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. Comunicado Técnico 85. Embrapa, 2013. 4 p.

MALTE NO CANECO. Densidade do Mosto: Conceitos de SG, OG e FG. 2016. Disponível em: <<https://maltenocaneco.com.br/2016/01/31/densidade-do-mosto-conceitos-de-sg-og-e-fg/>> Acesso em: 19 dez. 2017.

MARCONDES, Lígia. Mostura: Jornada Cervejeira - Módulo Brassagem. Disponível em: <http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte_arquivo/02-mostura_jornada_8h.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2017.

MATOS. R, A, G. Cerveja: Panorama do mercado, Produção artesanal e avaliação de aceitação e preferência. 2011. 90 f. TCC (obtenção de título de Engenheiro Agrônomo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis- SC. 2011

MDA- Ministério do Desenvolvimento Agrário – Cartilha Técnicas para Adoção de Boas Práticas de Manejo para o Extrativismo do fruto da Macaúba/Bocaiúva (*acrocomia spp.*). Brasília – DF. Novembro de 2014

MOTTA, P.E. et al. Ocorrência de Macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedagógicos e vegetacionais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 7, 2002.

NASCIMENTO, Ludmila. Emprego da Torta de Macaúba (*Acrocomia Aculeata*) como Adjunto de Malte na Produção de Cerveja. 2016. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Bioprocessos, Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2016.

PALMER, J. How to Brew. 1999. Disponível em: < <http://www.howtobrew.com>>. Acesso em: 28/11/2017.

PETERNELLI, L, A. Regressão linear e correlação. INF 162. 2009. Disponível em:< <http://www.dpi.ufv.br/~petercelli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>> Acesso em: 14 dez. 2017.

PIMENTA, Thiago Vasconcelos. Metodologias De Obtenção E Caracterização Dos Óleos Do Fruto Da Macaúba Com Qualidade Alimentícia: Da Coleta À Utilização. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

POLAINA, Julio; MACCABE, Andrew P. (Eds.). Industrial enzymes: structure, function and applications. Dordrecht: Springer, 2007. 641 p.

PORTO, Paula de Donati. Tecnologia de fabricação de malte: uma revisão. 2011. 58 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenheiro de Alimentos, Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROSA, Ricardo. Decocção. Palestra na Biergarten da Acerva Carioca, 2009.

ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Júlio Carlos. A Química da Cerveja. Química Nova na Escola, [s.l.], v. 37, n. 2, p.98-105, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>.

SANTOS, Angela Alves dos et al. Dosagem de açúcares redutores com o reativo DNS em microplaca. Brazilian Journal Of Food Technology, [s.l.], v. 20, p.1-9, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.11315>.

SANTOS, Hilton Túlio Lima dos. Avaliação da torta de macaúba como insumo para a produção de bioetanol. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

SANTOS, Armando Henrique dos et al. Você sabe o que está comendo? entenda a composição química dos alimentos. 2013. Disponível em: <http://www.lapeq.fe.usp.br/minicurso/pdf/mc_2013_ma_obesidade.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2017.

SOUZA, Cássia Aparecida de; CARDOZO, Tuane Tayrine Mendes. Produção de Cerveja Especial com Torta de Macaúba e Avaliação de Parâmetros Físico-Químicos Da Torta E Cerveja. 2017. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2017.

VENTURINI FILHO, W. G. Tecnologia de cerveja. Jaboticabal: Funep, 2010. 83 p.

VENTURINI, W.G.F. Tecnologia de bebidas. 1ª edição. São Paulo: Edgard Bucher LTDA. 2005.

VEREDIANO, Fernanda Cristina. Aproveitamento da torta residual da extração do óleo da Polpa de Macaúba para fins alimentícios. 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.